

⑤① Int. Cl. 3 = Int. Cl.

Int. Cl. 2:

G 01 R 15/07

①⑨ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

DE 28 45 625 A 1

①①

Offenlegungsschrift 28 45 625

②①

Aktenzeichen: P 28 45 625.9

②②

Anmeldetag: 19. 10. 78

④③

Offenlegungstag: 30. 4. 80

③①

Unionspriorität:

③②

③③

③①

⑤④

Bezeichnung: Anordnung zur elektrooptischen Spannungsmessung

⑦①

Anmelder: Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München

⑦②

Erfinder: Feldtkeller, Ernst, Prof. Dr.rer.nat., 8000 München

DE 28 45 625 A 1

This Page Blank (uspto)

Patentansprüche

- 1) Anordnung zur elektrooptischen Spannungsmessung an einem Hochspannungsleiter, dessen elektrisches Feld
5 einen linear oder zirkular polarisierten Lichtstrahl elliptisch polarisiert und bei der in einem Empfänger die zu messende Spannung aus der Phasendifferenz zwischen den mit verschiedenen Durchtrittsgeschwindigkeiten laufenden Komponenten der Lichtwelle abgeleitet wird,
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß als Zuleitung (14) oder als Rückleitung (24) für den ursprünglich linear oder zirkular polarisierten Lichtstrahl (4) zwischen einem Kopfteil (20) mit dem Hochspannungsleiter (16) und einem Fußteil (1) mit einem
15 Sender (2) und dem Empfänger (40) wenigstens eine Kristallfaser mit longitudinalem, linearem elektrooptischem Effekt aus piezoelektrischem Material vorgesehen ist.
- 20 2. Anordnung nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß als Zuleitung (14) für den Lichtstrahl (4) vom Sender (2) zum Kopfteil (20) und als Rückleitung (24) vom Kopfteil (20) zum Empfänger (40) zwei elektrooptische Kristallfasern vorgesehen sind und
25 daß die Kristallorientierung der Rückleitung (24) gegenüber der Zuleitung (14) um 90° gedreht ist. (Figur 1).
3. Anordnung nach Anspruch 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die im Kopfteil (20) gekrümmte Kristallfaser am Hochspannungsleiter (16) derart
30 in Teilwindungen (21, 22, 23) geführt ist, daß die Formdoppelbrechung innerhalb des Fasermaterials aufgehoben ist. (Figur 1).
- 35 4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß am Hochspannungsleiter (16) ein Umlenkkörper (30) zur Führung

der Kristallfaser in Teilwindungen (21, 22, 23) hintereinander in zueinander senkrechten Ebenen vorgesehen ist.

5 5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, da -
durch gekennzeichnet, daß der Zuleitung (14) ein $\lambda/4$ -Plättchen vorgeschaltet ist.

10 6. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Zuleitung eine nicht
elektrooptisch wirksame Kristallfaser vorgesehen ist und
der Rückleitung (24) im Kopfteil (20) auf der Hochspannungsseite ein Polarisator (26) und ein $\lambda/4$ -Plättchen vorgeschaltet ist.

15 7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, da -
durch gekennzeichnet, daß der
Empfänger (40) einen Kompensator (38) enthält, dessen Ausgangssignal als Maß für die zu messende Spannung vorgesehen ist.

20

8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, da -
durch gekennzeichnet, daß zur Phasendemodulation im Empfänger (40) zwei Detektorsysteme
(I, II) vorgesehen sind, von denen einem Detektorsystem
25 (I) ein $\lambda/4$ -Plättchen (82) vorgeschaltet ist und die jeweils ein Strahlteilerprisma (84 bzw. 94) und den Teilstrahlen zugeordnete Detektoren (88, 90 bzw. 95, 97) enthalten und die ferner jeweils einen Differenzverstärker (92 bzw. 98) und einen nachgeordneten Trägerfrequenz-
30 modulator (Multiplikator) enthalten, dem ein Hochfrequenzgenerator (100) für eine Trägerfrequenz zugeordnet ist und daß eine gemeinsame Auswerteschaltung (99) zur Differenz- oder Summenbildung aus den Produkten vorgesehen ist (Figur 5).

35

9. Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,

- k e n n z e i c h n e t, daß das Strahlteilerprisma (84) des ersten Detektorsystems (I) so orientiert ist, daß das Ausgangssignal des Differenzverstärkers (92) proportional zu $\sin \delta$ ist, daß das Strahlteilerprisma (94) des zweiten Detektorsystems (II) so orientiert ist, daß das Ausgangssignal des Differenzverstärkers (98) proportional zu $\cos \delta$ ist, mit der der zu messenden Spannung proportionalen Phasenverschiebung δ der elektrooptischen Doppelbrechung.
- 10 10. Anordnung nach Anspruch 2 bis 5, 8 oder 9, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Zulei-
tung und die Rückleitung aus derart verschiedenen elektro-
optisch wirksamen Materialien bestehen, daß sich ihre
Temperaturabhängigkeiten wenigstens annähernd kompensieren.
- 15 11. Anordnung nach Anspruch 7, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t, daß die Kristallfasern der Zu-
leitung und/oder der Rückleitung und das Kristallmaterial
des Kompensators (36) aus derart verschiedenen elektro-
20 optisch wirksamen Materialien bestehen, daß sich ihre
Temperaturabhängigkeiten wenigstens annähernd kompensie-
ren.
- 25 12. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß mehrere
Zuleitungen (114, 116) mit jeweils einer Rückleitung (124
bzw. 126) aus mindestens zwei verschiedenen elektroopti-
schen Materialien hintereinander angeordnet und kristallo-
graphisch so orientiert sind, daß sich die Temperatur-
30 koeffizienten der elektrooptischen Effekte wenigstens an-
nähernd kompensieren (Fig. 6).
- 35 13. Anordnung nach Anspruch 12, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t, daß die erste Zuleitung (114)
aus einem elektrooptisch unwirksamen Lichtleiter besteht,
und daß von den drei übrigen Kristallfasern (124, 116 und

2845625

- 4 -

VPA 78 P 7170 BRD

126) zwei aus Ammoniumdihydrogenphosphat und eine aus
Kaliumdihydrogenphosphat bestehen und kristallographisch
so orientiert hintereinander gekoppelt sind, daß sich die
Temperaturkoeffizienten der elektrooptischen Effekte
5 wenigstens annähernd kompensieren.

030018/0271

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
Berlin und München

Unser Zeichen
VPA **78 P 7170 BRD**

5 Anordnung zur elektrooptischen Spannungsmessung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung zur elektro-
optischen Spannungsmessung an einem Hochspannungsleiter,
dessen elektrisches Feld einen linear polarisierten Licht-
10 strahl in einem Lichtleiter elliptisch polarisiert und bei
der im Empfänger die Spannung aus der Phasendifferenz der
Lichtwellen-Komponenten mit verschiedenen Durchtrittsge-
schwindigkeiten abgeleitet wird.

15 Die Abhängigkeit der Doppelbrechung von einem äußeren
elektrischen Feld wird bekanntlich als elektrooptischer
Effekt bezeichnet. Ein linear oder zirkular polarisierter
Lichtstrahl wird beim Durchtritt durch ein doppelbrechendes
Medium im allgemeinen elliptisch polarisiert. Die den bei-
20 den Hauptachsen des doppelbrechenden Mediums zugeordneten
Komponenten der Lichtwelle bewegen sich durch das Medium
mit verschiedenen Geschwindigkeiten. Die resultierende
Phasendifferenz ist proportional der vom Lichtstrahl im
Kristall zurückgelegten Strecke und, wenn es sich um einen
25 linearen elektrooptischen Effekt handelt und die Doppel-
brechung ohne Feld verschwindet, zum elektrischen Feld.

Kin 2 Sh / 25.1.1978

030018/0271

Sie kann zur Messung des Feldes und somit zur Spannungsmessung verwendet werden.

Es sind Verfahren zur Spannungsmessung bekannt, bei denen
5 die elektrische Feldstärke E mit dem elektrooptischen Effekt in unsymmetrischen Kristallen oder mit Hilfe des Feldeinflusses auf Flüssigkristalle bestimmt wird. Dabei wird aber nur die elektrische Feldstärke in dem verhältnismäßig kleinen Kristallvolumen bestimmt. Die Aufgabe der
10 Erfindung besteht nun darin, eine Meßanordnung anzugeben, bei der die Spannung $U = \int E dl$ über eine große Strecke l aufintegriert wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß
15 als Zuleitung oder als Rückleitung für den ursprünglich linear oder zirkular polarisierten Lichtstrahl zwischen einem Kopfteil mit dem Hochspannungsleiter und einem Fußteil mit einem Sender und dem Empfänger wenigstens eine Kristallfaser mit longitudinalem, linearem elektrooptischem Effekt aus piezoelektrischem Material vorgesehen
20 ist. Am Hochspannungsleiter ist die Kristallfaser vorzugsweise so geführt, daß die Formdoppelbrechung innerhalb der Kristallfaser aufgehoben wird. Eine weitere Kristallfaser mit den gleichen Eigenschaften ist als Rückleitung
25 vorgesehen. Die Kristallachsen der Rückleitung sind gegenüber den Kristallachsen der Zuleitung so orientiert, daß sich die Effekte der Doppelbrechung in der Zu- und Rückleitung addieren und die Phasenverschiebung über der gesamten Strecke aufintegriert werden kann. Die Messung mit
30 dieser im elektrischen Feld doppelbrechenden Kristallfaser ist unabhängig von der Feldverteilung an dieser Strecke.

Als Strahlungsquelle ist im allgemeinen ein Laser mit vorgeschaltetem Polarisator vorgesehen. Zwischen Polarisator
35 und Zuleitung wird zweckmäßig ein $\lambda/4$ -Plättchen vorgesehen, welches die lineare Polarisation in eine zirkuläre Polari-

- 7 -
- 3 -

VPA 78 P 7 1 7 0 BRD

- sation umwandelt. In einem Kopfteil am Hochspannungsleiter ist ein Umlenkkörper vorgesehen, an dem die Kristallfaser in verschiedenen Teilstrecken in zueinander senkrechten Ebenen derart geführt wird, daß die durch die Faserkrümmung verursachte For-m-doppelbrechung aufgehoben wird. Im Empfänger wird die Phasenverschiebung in eine entsprechende elektrische Größe umgesetzt, die als Maß für die Spannung dient.
- 10 In einer besonderen Ausführungsform der Meßanordnung ist der Empfänger mit einem Kompensator versehen, der die Doppelbrechung der Kristallfasern kompensiert. Er enthält ein elektrooptisches Material, das vorzugsweise schon bei sehr geringer Spannung doppelbrechend wirkt. Sein Ausgangssignal dient als Maß für die zu messende Spannung.
- 15 Die Kompensatorspannung ist auch dann proportional zur Hochspannung, wenn die Phasenverschiebung 2π überschreitet.
- 20 Unter Umständen kann es ausreichend sein, wenn entweder nur die Zuleitung oder nur die Rückleitung des polarisierten Lichtstrahls aus der im elektrischen Feld doppelbrechenden Kristallfaser besteht.
- 25 Als Zuleitung kann auch eine depolarisierende Kristallfaser vorgesehen sein. In dieser Ausführungsform wird der Polarisator und vorzugsweise noch ein $\lambda/4$ -Plättchen am Hochspannungsleiter angeordnet. Durch diesen Aufbau der Meßanordnung wird der Umlenkkörper vereinfacht.
- 30 In einer weiteren Ausführungsform der Anordnung zur elektrooptischen Spannungsmessung sind anstelle des Kompensators zur Phasendemodulation ein zweites Detektorsystem und eine Auswerteschaltung vorgesehen. Jedes der Detektorsysteme
- 35 enthält jeweils ein Strahlteilerprisma und den Teilstrahlen zugeordnete Detektoren. Die Lichtwelle wird z.B. über

030018/0271

einen halbdurchlässigen Spiegel auf die beiden Detektorsysteme verteilt. Dem ersten Detektorsystem kann vorzugsweise ein $\lambda/4$ -Plättchen vorgeschaltet werden und die Strahlteilerprismen der beiden Detektorsysteme sind so orientiert, daß beim Verschwinden der zu messenden Spannung U die beiden Strahlintensitäten hinter dem ersten Strahlteilerprisma gleich groß sind, während hinter dem zweiten Strahlteilerprisma bei $U = 0$ nur ein Teilstrahl austritt.

10

Statt des halbdurchlässigen Spiegels kann auch noch ein zusätzliches Lichtleitersystem vorgesehen sein, dessen Ende mit dem Eingang des zweiten Detektorsystems optisch gekoppelt ist.

15

Eine Technik zum Ziehen der erforderlichen langen, dünnen Kristalle ist bekannt, beispielsweise aus dem "J. Mat. Sci." 7 (1972) Seiten 631, 649 und 787.

20

Da die Kristallfaser ohne elektrische Spannung nicht doppelbrechend sein soll, sind Materialien mit kubischer oder tetragonaler Kristallstruktur geeignet. Bei der tetragonalen Kristallstruktur muß die c -Achse parallel zur Faserachse liegen.

25

Ein longitudinaler elektrooptischer Effekt tritt in diesen Kristallsystemen auf, wenn der elektrooptische Koeffizient r_{63} nicht verschwindet oder $r_{13} - r_{23} \neq 0$ ist. Dies ist bekanntlich der Fall in der Kristallklasse

30

$T_d = \overline{4}3m$ (Proc. IRE 46 (1958) S. 764 bis 778, insbes. S. 768). Diese Eigenschaft haben beispielsweise die Zinkblende ZnS , die Kupferhalogenide CuF und $CuCl$ u.a. und Eulytin $Bi_4(SiO_4)_3$. Ferner ist geeignet die Kristallklasse $T = 23$, beispielsweise das Natriumchlorat $NaClO_3$, die Kristallklasse $D_{2d} = \overline{4}2m$, beispielsweise das Kaliumdihydrogenphosphat KH_2PO_4 und der Harnstoff $CO(NH_2)_2$ und

35

die Kristallklasse $S_4 \equiv \bar{4}$, beispielsweise Pentaerythrit $C(CH_2OH)_4$.

Beträgt der Brechungsindex für Licht, dessen elektrische
 5 Schwingung (\hat{E} -Vektor) senkrecht zur c-Achse liegt, ohne
 elektrisches Feld einheitlich n_0 , d.h. er hat bei der
 Spannung Null keine Doppelbrechung, so entsteht für
 Materialien aus den Kristallklassen T_d , T oder D_{2d} in
 einem parallel zur c-Achse liegenden elektrischen Feld E_z
 10 eine Doppelbrechung mit den Brechungsindices

$$n_0 + \frac{n_0^3 r_{63} E_z}{2} \quad \text{bzw.}$$

15

$$n_0 - \frac{n_0^3 r_{63} E_z}{2}$$

für zwei senkrecht aufeinanderstehende Hauptachsen-
 richtungen in $[110]$ - und $[1\bar{1}0]$ -Richtung. Es entsteht
 20 somit eine Doppelbrechung von der Größe $n_0^3 r_{63} E_z$.

Bei der Kristallklasse S_4 überlagert sich diesem Effekt
 aufgrund der Koeffizienten $r_{13} = -r_{23} \neq 0$ eine Doppel-
 brechung mit $[100]$ -Orientierung. Die Hauptachsen der
 25 resultierenden Doppelbrechung liegen deshalb zwischen den
 $[100]$ - und $[110]$ -Richtungen. Da das Vorzeichen der
 Doppelbrechung vom Vorzeichen der angelegten Spannung
 abhängt, kann dieser lineare Effekt zur Spannungsmessung
 herangezogen werden.

30

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeich-
 nung Bezug genommen, in deren Figur 1 ein Ausführungsbei-
 spiel einer Anordnung zur elektrooptischen Spannungsmes-
 sung an einem Hochspannungsleiter nach der Erfindung
 35 schematisch veranschaulicht ist. Die elliptische Polari-
 sation durch die Doppelbrechung in einem Kristall ist an-

- 10 -

- 8 -

VPA 78 P 7 1 7 0 BRD

- hand der Figuren 2 bis 4 erläutert. Figur 5 zeigt eine besondere Ausführungsform der Meßanordnung mit zwei Detektorsystemen im Empfänger. In Figur 6 ist eine Ausführungsform der Meßanordnung mit zwei verschiedenen
- 5 Kristallfasern zur Kompensation der Temperaturabhängigkeit dargestellt. In Figur 7 ist die Kompensation der Temperaturabhängigkeit durch verschiedene Kristallfasern in einem Diagramm veranschaulicht.
- 10 Nach Figur 1 enthält ein Fußteil 1, das sich auf Nullpotential befindet, einen Sender 2 mit einer Lichtquelle 3, für einen polarisierten Lichtstrahl 4, einem $\lambda/4$ -Plättchen 6 und einer Einkoppeloptik 8. In einem Isolator 12 ist eine lichtleitende Kristallfaser 14 angeordnet,
- 15 die aus piezoelektrischem Material mit longitudinalem, linearem elektrooptischem Effekt besteht und den Lichtstrahl 4 zu einem Kopfteil 20 führt, das sich an einem Hochspannungsleiter 16 mit einer Spannung von beispielsweise wenigstens 220 kV befindet. Das Kopfteil 20 enthält
- 20 einen Umlenkkörper 30, der aus zwei halbkreisförmigen Segmenten 31 und 32 besteht. Er dient zur Führung der Kristallfaser in mehreren Teilwindungen 21, 22 und 23. Zwischen der Kristallfaser 14 und der lichtleitenden Kristallfaser 24 ist eine nicht näher dargestellte optische
- 25 Kupplungseinrichtung 34 vorgesehen.

- Am Ende der Kristallfaser 24 ist im Fußteil 1 ein Empfänger 40 angeordnet, der eine Auskopplungsoptik 36 für den Lichtstrahl 4 enthält und mit einem Kompensator 38 versehen ist, an dessen elektrischem Ausgang 42 der Meßwert
- 30 abgenommen werden kann. Dem Kompensator 38 ist ein Strahlteiler 44 nachgeordnet, der beispielsweise ein Wollastonprisma sein kann und den empfangenen Lichtstrahl in senkrecht zueinander polarisierte Teilstrahlen 46 und 48 aufteilt.
- 35 Eine Detektoranordnung 50 enthält für die beiden Teilstrahlen jeweils einen Detektor 52 bzw. 54 sowie einen

- M -

- 1 -

VPA 78 P 7 170 BRD

Differenzverstärker, dessen Ausgangssignal über einen Verstärker 56, vorzugsweise einen Leistungsverstärker, dem Kompensator 38 zugeführt wird.

- 5 Die Lichtquelle 3 liefert den gebündelten Lichtstrahl 4 linear polarisierten Lichts, was oberhalb der Lichtquelle 2 durch einen nicht näher bezeichneten Doppelpfeil angedeutet ist. Der Lichtquelle 3 kann unter Umständen noch ein in der Figur nicht dargestellter Polarisator nachgeordnet sein.
- 10 Das $\lambda/4$ -Plättchen 6 wandelt das linear polarisierte Licht der Lichtquelle 3 um in zirkular polarisiertes Licht. Die optischen Achsen des $\lambda/4$ -Plättchens 6 sind deshalb gegenüber der Polarisationsrichtung des von der Lichtquelle 3 gelieferten Lichtstrahls 4 jeweils um 45° gedreht. Der
- 15 zirkular polarisierte Lichtstrahl 4 wird über die Einkopplungsoptik 8, die beispielsweise als Sammellinse dargestellt ist, in die Kristallfaser eingekoppelt. Die Kristallfaser 14 durchläuft eine Strecke zwischen der Lichtquelle 3 und dem Hochspannungsleiter 16, dessen Span-
- 20 nung gemessen werden soll. Über diese Strecke soll die Spannung des Hochspannungsleiters 16 mit der Meßanordnung nach der Erfindung aufintegriert werden.

- Die Kristallfaser 14 wirkt wie jeder Lichtleiter auch ohne
- 25 elektrisches Feld doppelbrechend, sobald sie gekrümmt wird. Eine Krümmung läßt sich zwischen der Zuleitung 14 und der Rückleitung 24 nicht vermeiden. Gemessen werden soll aber nur die von der Spannung des Hochspannungsleiters 16 verursachte Doppelbrechung. Die Kristallfaser 14 wird deshalb
- 30 auf dem Umlenkkörper 30 an den Segmenten 31 und 32 so geführt, daß die auf der Faserkrümmung beruhende Formdoppelbrechung kompensiert wird, wie es beispielsweise in der deutschen Offenlegungsschrift Nr. 2543134 für eine Einrichtung zur Strommessung durch Ermittlung der Faraday-
- 35 Drehung im Magnetfeld des stromführenden Leiters beschrieben ist. An den Segmenten 31 und 32 des Umlenkkörpers 30

bildet die Kristallfaser zwei Viertelwindungen 21 und 23 in senkrechter Richtung, denen eine Halbwindung 22 in horizontaler Richtung zugeordnet ist. Durch diese Führung der Kristallfaser wird die innerhalb der Faser durch die Krümmung verursachte Doppelbrechung aufgehoben und es entsteht somit keine zusätzliche Doppelbrechung.

Die Kristallfasern 14 und 24 haben die Eigenschaft, daß sie im elektrischen Feld doppelbrechend wirken. Dies hat zur Folge, daß eine Komponente der Lichtwelle des Lichtstrahls 4 mit einer bestimmten Polarisationssebene in den Kristallfasern 14 bzw. 24 eine höhere Durchtrittsgeschwindigkeit hat als die zweite Komponente mit dazu senkrechter Polarisation. Durch die verschiedenen Geschwindigkeiten der Komponenten mit zueinander senkrechten Polarisationsrichtungen erhält man am Ende der Faser 24 die Phasenverschiebung, die als Maß für die zu messende Spannung im Hochspannungsleiter 16 dient.

In der Kupplungseinrichtung 34 wird die Lichtwelle des Lichtstrahls 4 in die als Rückleitung 24 dienende zweite Kristallfaser derart eingekoppelt, daß die Kristallorientierung der Faser 24 gegenüber der Kristallfaser 14 um 90° gedreht ist.

Die Orientierung der Kristallstrukturelemente der Faser 14 ist in der Figur durch ein Tetraeder 62 angedeutet. Das Tetraeder stellt z.B. die Anordnung der vier Schwefelatome in der Umgebung eines Zinkatoms in der Zinkblende ZnS dar. Die Änderung der Kristallorientierung durch die Führung der Kristallfaser am Umlenkkörper 30 ist durch ein weiteres Tetraeder 64 veranschaulicht. Durch die Kupplungseinrichtung 34 wird dann die Kristallachse um 90° gedreht, so daß die Rückleitung 24 wieder die gleiche Kristallorientierung wie die Zuleitung 14 erhält und sich dadurch die Effekte der Doppelbrechung in der Zuleitung 14 und der Rückleitung 24 addieren. Die Kristallorientierung der Rück-

- 13 -

- 8 -

VPA 78 P 7170 BRD

5 leitung 24 ist durch ein weiteres Tetraeder 66 veranschaulicht. Durch die Kupplungseinrichtung 34 erhält man somit zwei verschiedene Fasern, welche die Addition der Doppelbrechung ermöglichen. Die Phasenverschiebung der beiden Polarisationsrichtungen ist proportional der Spannung im Hochspannungsleiter 16 und damit ein Maß für die zu messende Spannung.

10 Die Hauptachsen 72 und 74 der Doppelbrechung verlaufen nach Figur 2 senkrecht bzw. waagerecht. Bei der zu messenden Spannung $U = 0$ haben die in den beiden Hauptachsen polarisierten Lichtwellen gleiche Geschwindigkeit. Infolgedessen ist der Lichtstrahl auch am Ende der Faser 24 noch zirkular polarisiert, und die beiden Detektoren 52 und 54
15 des Empfängers 40 nach Figur 1 erhalten Teilstrahlen 46 bzw. 48 gleicher Intensität. Das Ausgangssignal des Detektors 50 ist Null und der Verstärker 56 liefert kein Signal. Mit zunehmender Spannung und damit zunehmender Phasendifferenz entsteht am Ende der Rückleitung 24 eine elliptische Polarisation des Lichtstrahls, wobei die Orientierung
20 der großen Achse der Ellipse vom Vorzeichen der zu messenden Spannung im Hochspannungsleiter 16 abhängt. Ist die Spannung $U < 0$, so resultiert nach Figur 3 in der ersten Faserkristallachse 76 eine größere Amplitude als in der
25 zweiten Faserkristallachse 78. Ist dagegen die Spannung $U > 0$, so resultiert nach Figur 4 in der zweiten Faserkristallachse eine größere Amplitude als in der ersten.

30 Solange der Kompensator 38 diese Elliptizität nicht kompensiert, liefert der Verstärker 56 ein Signal, dessen Vorzeichen durch das Vorzeichen der zu messenden Spannung im Hochspannungsleiter 16 bestimmt wird. Wenn der Verstärkungsfaktor des Verstärkers 56 genügend groß ist, wird die Phasenverschiebung durch den Kompensator 38 kompensiert. Die Kompensatorspannung folgt dadurch Änderungen
35 der zu messenden Spannung, und zwar auch wenn die Phasen-

- 14 -

- 10 -

VPA 78 P 7170 BRD

verschiebung mehr als 360° beträgt. Die Detektorschaltung 50 im Empfänger 40 muß dazu so schnell sein, daß sie den auftretenden Phasenverschiebungen laufend folgen kann und verhindert wird, daß ganze Vielfache von 360° nicht registriert werden. Die am Kompensator 38 anliegende Spannung ist proportional der Spannung an den Kristallfasern 14 und 24 und kann somit am Ausgang 42 als Maß für die zu messende Spannung im Hochspannungsleiter 16 verwendet werden.

10

Wenn auch im Kompensator 38 ein longitudinaler elektro-optischer Effekt ausgenutzt wird, ist das Verhältnis der Wandlerausgangsspannung zur zu messenden Spannung im Leiter 16 doppelt so groß wie das Verhältnis der Halbwellenspannungen des Kompensator- und Fasermaterials.

15

Anstelle der beiden Kristallfasern mit elektrooptischem Effekt für die Zuleitung 14 und die Rückleitung 24 kann auch nur eine der beiden Leitungen, vorzugsweise die Rückleitung 24, aus einem elektrooptisch wirksamen Faserkristall bestehen. Die Zuleitung 14 besteht dann aus einer nicht depolarisierenden aber elektrooptisch unwirksamen Lichtleitfaser, beispielsweise einer Monomodefaser oder auch einer Flüssigkernfaser.

25

Ferner kann es zweckmäßig sein, für die Zuleitung 14 eine depolarisierende Lichtleitfaser, beispielsweise eine gewöhnliche Multimodefaser zu verwenden. Die Rückleitung 24 besteht dann aus einer Kristallfaser mit elektrooptischem Effekt. Ein Polarisator sowie eine Einkopplungseinrichtung und ein $\lambda/4$ -Plättchen zur Erzeugung des zirkular polarisierten Lichtes sind dann vorzugsweise im Kopfteil 20 am Hochspannungsleiter 16 angeordnet. In dieser Ausführungsform kann man einen wesentlich einfacheren Umlenkkörper verwenden, weil lediglich eine Halbwindung zwischen der Zuleitung 14 und der Rückleitung 24 erforderlich ist.

30

35

Das Zusammensetzen der Meßanordnung am Einsatzort kann man dadurch vereinfachen, daß im Wege der Fasern zusätzliche in den Figuren nicht dargestellte Kupplungen vorgesehen sind. In dieser Ausführungsform müssen dann nur die
5 im Stützerisolator 12 verlaufenden Lichtleiterabschnitte der Rückleitung und evtl. auch der Zuleitung aus Kristallfasern bestehen, während die Lichtleiter in den feldfreien Räumen des Kopfteiles und des Fußteiles elektrooptisch unwirksame Glas- bzw. Flüssigkern-Lichtleiter sein können.

10 In der Ausführungsform der Meßanordnung nach Figur 5 mit einer depolarisierenden Lichtleitfaser als Zuleitung 15, einem einfachen, in der Figur nicht dargestellten Umlenkkörper, sowie einem im Kopfteil 20 angeordneten Polarisator 26 und einer Einkopplungseinrichtung 28 ist außerdem beispielsweise eine besondere Ausführungsform des
15 Empfängers 40 vorgesehen. Dieser Empfänger 40 enthält zwei Detektorsysteme I und II sowie eine Auswerteschaltung 99, mit deren Hilfe eine Mehrdeutigkeit beim Überschreiten der Phasenverschiebung von 90° ausgeschlossen
20 werden kann. Der Lichtstrahl der Rückleitung 24 wird über die Auskopplungseinrichtung 36 sowie einen halbdurchlässigen Spiegel 80 sowohl dem Detektorsystem I als auch dem Detektorsystem II zugeführt. Dem Detektorsystem I ist
25 ein $\lambda/4$ -Plättchen 82 vorgeschaltet, das den im Falle $U = 0$ linear polarisierten Lichtstrahl zirkular polarisiert. Es enthält einen Strahlteiler 84, beispielsweise ein Wollaston-Prisma, sowie eine Detektorschaltung 86 mit jeweils einem Detektor 88 bzw. 90 für einen der beiden nicht
30 näher bezeichneten Teilstrahlen. Der Detektorschaltung 86 ist ein Differenzverstärker 92 zugeordnet, dessen Ausgangssignal proportional zu der Funktion $\sin \delta$ ist, wobei δ der Winkel der Phasenverschiebung ist, die durch die elektrooptische Doppelbrechung entsteht. Das Detektorsystem II erhält den restlichen Teil des Lichtstrahls
35 nicht über ein $\lambda/4$ -Plättchen. Es besteht aus einem

- 16 -

- 1/2 -

VPA 78 P 7170 BRD

Strahlteiler 94 sowie einer Detektorschaltung 96 mit den Detektoren 95 und 97 für die beiden Teilstrahlen und einem nachgeordneten Differenzverstärker 98, dessen Ausgangssignal proportional zu $\cos \delta$ ist. Ohne Spannung am Hochspannungsleiter 16, d.h. bei Spannung Null, erhält somit das Detektorsystem II linear polarisiertes und das Detektorsystem I zirkular polarisiertes Licht.

Die zu messende Spannung am Hochspannungsleiter 16 bewirkt die Doppelbrechung mit entsprechender Phasenverschiebung in der Kristallfaser 24, und sowohl der Lichtstrahl im Eingang des Detektorsystems II als auch der Lichtstrahl im Eingang des Systems I werden elliptisch polarisiert. Auf dieser Änderung beruht die Messung im Empfänger 40. Die Auswerteschaltung 99 enthält jeweils einen Multiplikator für die beiden Detektorsysteme I und II sowie eine gemeinsame Einrichtung zur Differenzbildung (oder Summenbildung). Ihr wird außerdem in bekannter Weise von einem Hochfrequenzgenerator 100 eine Trägerfrequenz $\cos \omega t$ sowie das davon abgeleitete Signal $\sin \omega t$ zugeführt ("Measuring Current at extra-high Voltage" in Laser Focus, Mai 70, Seiten 35 bis 38). Ein gemeinsamer 1-Generator wie in der bekannten Schaltung ist nicht erforderlich, weil die Signale der Differenzverstärker 92 und 98 bereits proportional zu $\cos \delta$ und $\sin \delta$ sind. Als Ausgangssignal erhält man am Ausgang 102 des Empfängers 40 ein Signal mit der Zeitabhängigkeit

$$\begin{aligned} \cos \delta \cos \omega t - \sin \delta \sin \omega t &= \cos (\omega t + \delta) \quad \text{oder} \\ \cos \delta \cos \omega t + \sin \delta \sin \omega t &= \cos (\omega t - \delta), \end{aligned}$$

während am Ausgang 104 die Trägerfrequenz $\cos \omega t$ abgenommen wird.

Die von der bekannten Anordnung abweichende Ausführungsform der Phasendemodulation mit Hilfe einer Trägerfrequenz in der Auswerteschaltung 99 beruht auf der Erkenntnis, daß

030018/0271

- 17 -

- 13 -

VPA 78 P 7170 BRD

bei Intensitätsschwankungen der Teilstrahlen in den Detektorsystemen I und II auch der Generator zur Subtraktion der Konstanten 1 in seiner Intensität entsprechend mit schwanken müßte. Dies ist aber nur mit einem verhältnismäßig großen Aufwand möglich.

Mit Hilfe der Auswerteschaltung 99 wird der als Trägerfrequenz verwendeten hochfrequenten Wechselspannung $\cos \omega t$ eine Phasenverschiebung aufgeprägt, die mit der optischen Phasenverschiebung δ in den Kristallfasern übereinstimmt.

Aus der phasenverschobenen Hochfrequenzspannung zwischen den Ausgängen 102 und 104 kann in einer in der Figur nicht dargestellten entfernten Meßwarte die Phasenverschiebung δ und damit die zu messende Spannung mit Hilfe eines Phasenmessers zurückgewonnen werden.

Wenn die der Phasenmodulation überlagerte Amplitudenmodulation durch Schwankungen der Lichtintensität stört, können die Amplitudenschwankungen in bekannter Weise eliminiert werden (Rev. Sci. Instrum. 44 (1973), Seiten 742 - 743).

Abweichend von der Ausführungsform des Empfängers 40 nach Figur 5 kann anstelle der Differenzverstärker 92 und 98 auch jeweils eine analogelektronische Schaltung verwendet werden. Diesen analogelektronischen Schaltungen werden dann die Ausgangssignale der zugeordneten Detektoren 88 und 90 bzw. 95 und 97 zugeführt. Werden die Ausgangssignale der beiden Detektoren 88 und 90 mit U_1 bzw. U_2 bezeichnet und die Ausgangssignale der Detektoren 95 und 97 mit U_3 bzw. U_4 bezeichnet, so wird von der betreffenden analogelektronischen Schaltung ein Signal

$$S_1 \sim \frac{U_1 - U_2}{U_1 + U_2} = \sin \delta \quad \text{bzw.}$$

$$S_2 \sim \frac{U_3 - U_4}{U_5 + U_1} = \cos \delta$$

5 geliefert.

Mit einer besonders vorteilhaften Ausführungsform einer Anordnung zur Spannungsmessung an einem Hochspannungs-
 10 leiter durch Ausnutzung des elektrooptischen Effekts (Pockels-Effekt) in einer lichtleitenden Kristallfaser erhält man eine Kompensation der Temperaturabhängigkeit des elektrooptischen Effekts der Kristallfasern dadurch, daß nach Figur 6 als Hin- und Rückleiter verschiedene Fasern derart gegeneinander geschaltet werden, daß sich
 15 ihre Temperaturabhängigkeiten bei der Differenzbildung praktisch aufheben. In dieser Ausführungsform sind zwischen dem Sender 2 des Fußteils 1 und dem Kopfteil 20 am Hochspannungsleiter 16 vier Lichtleitfasern hintereinandergeschaltet, von denen die elektrooptisch wirksamen Kristallfasern 124 und 126 als Rückleitungen dienen. Die Zuleitung 114 kann beispielsweise aus einer nicht elektrooptischen Lichtleitfaser bestehen und die Zuleitung 116 wiederum aus einer elektrooptischen Kristallfaser. Dann befinden sich im Kopfteil 20 eine Einkoppeloptik 28 sowie
 25 ein Polarisator 26, wie es auch schon in Figur 5 dargestellt ist. Die erste und zweite Rückleitung 124 bzw. 126 werden nun mit der zweiten Zuleitung 116 durch die Auswahl zwei verschiedener optisch wirksamer Materialien so kombiniert, daß sich ihre Beiträge zur Temperaturabhängigkeit des Meßsignals wenigstens annähernd aufheben.
 30

Diese Ausführungsform beruht auf der Erkenntnis, daß der elektrooptische Koeffizient r_{63} dem Curie-Weiß-Gesetz unterliegt, das zur Abnahme des Meßsignals mit zunehmender Temperatur führt, wobei verschiedene Materialien verschiedene Temperaturkoeffizienten besitzen. Die Aufgabe,
 35

- 19 -

- 15 -

VPA 78 P 7170 BRD

den Spannungswandler so zu gestalten, daß die Temperaturabhängigkeit wenigstens nahezu aufgehoben ist, wird nun dadurch gelöst, daß beispielsweise als erste Rückleitung 124 und als zweite Zuleitung 116 jeweils eine Kristallfaser mit starkem elektrooptischem Effekt und einer gewissen Temperaturabhängigkeit verwendet wird. Als zweite Rückleitung 126 wird dann eine Kristallfaser mit nicht wesentlich stärkerem elektrooptischem Effekt, aber wesentlich stärkerer Temperaturabhängigkeit verwendet. Koppelt man diese Fasern so, daß sich der elektrooptische Effekt der Faser 126 von der Summe der elektrooptischen Effekte der Fasern 124 und 116 subtrahiert, so heben sich nicht die elektrooptischen Effekte, jedoch die Temperaturabhängigkeiten der Kristallfasern wenigstens annähernd auf.

Zwischen der Zuleitung 114 und der Rückleitung 124 im Kopfteil 20 wird lediglich ein einfacher in der Figur nicht dargestellter Umlenkkörper verwendet. Zwischen der Rückleitung 124 und der Zuleitung 116 ist dann eine Kupplungseinrichtung 128 erforderlich, damit sich die elektrooptischen Effekte über die Leitungswege summieren. Die Änderung der kristallographischen Orientierung der Faserkristalle ist durch zwei unterschiedliche Tetraeder 130 und 132 angedeutet. Am Ende der ersten Rückleitung 124 und der zweiten Zuleitung 116 ist im Fußteil 2 bzw. im Kopfteil 20 ein Umlenkkörper vorgesehen, wie er beispielsweise in Figur 1 dargestellt ist. Diese Umlenkkörper bewirken eine Krümmung des Faserkristalls mit zwei Viertelwindungen in der senkrechten Ebene und einer Halbwindung in der waagerechten Ebene und kompensieren dadurch die krümmungsbedingte Doppelbrechung. Am Anfang der zweiten Rückleitung 126 ist dann wiederum eine Kopplungseinrichtung 134 vorgesehen. Die Beziehung der kristallographischen Orientierung der beiden Fasern aus verschiedenem Material ist durch die beiden Tetraeder 136 und 138 angedeutet. Die Phasendemodulationsschaltung im Empfänger 40

030018/0271

- 20 -

- 16 -

VPA 78 P 7170 BRD

kann beispielsweise in gleicher Weise aufgebaut sein, wie es in Figur 5 dargestellt ist.

Für Kaliumdihydrogenphosphat KH_2PO_4 , das in der folgenden Beschreibung mit KDP bezeichnet werden soll, beträgt beispielsweise der elektrooptische Koeffizient

$$r_{63} = -\frac{1}{3} \left(1,0 + \frac{5400}{151 + 17^\circ\text{C}} \right) \text{ pm/V}$$

(Landolt-Börnstein, Neue Serie, Gruppe III, Band 1, Seite 144). Für Ammoniumdihydrogenphosphat $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$, das in der folgenden Beschreibung mit ADP bezeichnet werden soll, beträgt der elektrooptische Koeffizient

$$r_{63} = \frac{1}{3} \left(6,14 - \frac{10600}{317 + 17^\circ\text{C}} \right) \text{ pm/V.}$$

Daraus ergeben sich bei 19°C die Temperaturkoeffizienten

$$\frac{1}{r} \frac{dr}{dT} = 5,74 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \text{ für KDP} \quad \text{und} \\ 3,69 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \text{ für ADP.}$$

Verwendet man in dem Ausführungsbeispiel nach Figur 6 eine nicht elektrooptische Zuleitung 114, eine KDP-Kristallfaser als zweite Rückleitung 126 sowie zwei ADP-Kristallfasern als 1. Rückleitung 124 und 2. Zuleitung 116 und orientiert man die Fasern an den Kopplungsstellen derart, daß die resultierende Phasendifferenz

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} U (2n_{\text{ADP}}^3 r_{\text{ADP}} - n_{\text{KDP}}^3 r_{\text{KDP}})$$

beträgt, so ist der Temperaturkoeffizient dieser Phasendifferenz bei Vernachlässigung der Temperaturkoeffizienten der Brechungsindizes nur

030018/0271

- 21 -

- 17 -

VPA 78 P 7170 BRD

$$\frac{d\delta}{dT} = \frac{2n_{\text{ADP}}^3 \frac{dr_{\text{ADP}}}{dT} - n_{\text{KDP}}^3 \frac{dr_{\text{KDP}}}{dT}}{2n_{\text{ADP}}^3 r_{\text{ADP}} - n_{\text{KDP}}^3 r_{\text{KDP}}}$$

5

$$= \frac{2 \cdot 0,112 - 0,217}{2 \cdot 30,5 - 37,8} \text{ K}^{-1} = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}.$$

Das Diagramm nach Figur 7, in dem auf der Ordinate der Ausdruck $n^3 r_{63}$ der verwendeten Materialien in pm/V und auf der Abszisse die Temperatur T in °C aufgetragen ist, zeigt den Verlauf der Kennlinie für $n_{\text{KDP}}^3 r_{\text{KDP}}$ mit A und $n_{\text{ADP}}^3 r_{\text{ADP}}$ mit B und die Kombination der beiden Kennlinien aus zwei ADP-Fasern und einer KDP-Faser mit C.

Die Gegeneinanderschaltung der Faserkristalle nach Figur 6 ergibt den Verlauf der Kurve C. Die Temperaturabhängigkeit der Größe $n^3 r_{63}$, welche die elektrooptische Doppelbrechung der Faserkristalle bestimmt, ist somit in der Anordnung nach Figur 6 nahezu aufgehoben.

Durch die Kombination einer Faser des Materials der Kennlinie A mit starker Temperaturabhängigkeit und einem gewissen elektrooptischen Effekt mit zwei Fasern des Materials der Kennlinie B mit nur wenig schwächerem elektrooptischem Effekt aber etwa halb so starker Temperaturabhängigkeit, erhält man somit für die gesamte Hintereinanderschaltung der Kristallfasern die Kennlinie C, bei sich zwar wenigstens annähernd die Temperaturabhängigkeiten, jedoch nicht die elektrooptischen Effekte aufheben.

30

Neben der Möglichkeit, den Temperaturkoeffizienten der elektrooptischen Doppelbrechung mit einer Anordnung nach Figur 6 zu kompensieren, gibt es auch die Möglichkeit, bereits mit einer Hinleitung und einer Rückleitung eine Kompensation der Temperaturabhängigkeit zu erreichen.

- 22 -

- 18 -

VPA 78 P 7170 BRD

Ordnet man z.B. bei einer Anordnung der Kristallfasern nach Figur 1 mit einem Empfänger nach Figur 5 zwei Kristallfasern aus verschiedenen Materialien im Gegensatz zu Figur 1 so an, daß sich ihre elektrooptisch erzeugten Phasenverschiebungen subtrahieren, so ist das Meßsignal am Ausgang 42 des Empfängers 40 proportional der Größe $n^3 r - n'^3 r'$, wobei n und n' die ordentlichen Brechungsindices der beiden verschiedenen Materialien ohne elektrische Spannung und r bzw. r' die elektrooptischen Koeffizienten r_{63} der beiden verschiedenen Faserkristalle sind. Der Temperatur-Koeffizient des Meßsignals beträgt dann

$$\frac{1}{S} \frac{dS}{dT} = \frac{n^3 dr/dT - n'^3 dr'/dT}{n^3 r - n'^3 r'}$$

- 15 Für diese Ausführungsform eignet sich somit ein Materialpaar, für das der Zähler in der rechten Seite dieser Gleichung möglichst klein ist, nicht dagegen der Nenner.
- 20 In einer weiteren Ausführungsform der Anordnung zur elektrooptischen Spannungsmessung mit einem Kompensator nach Figur 1 müssen die verwendeten Kristallfasern und der Kompensator sowieso aus verschiedenen elektrooptisch wirksamen Materialien bestehen. In diesem Fall erhält man
- 25 als Meßsignal eine Spannung

$$U' = U \cdot \frac{n^3 r}{n'^3 r'}$$

- wenn auch im Kompensator ein longitudinaler elektrooptischer Effekt ausgenutzt wird. U ist darin die zu messende Spannung an der Hochspannungsleitung. Vernachlässigt man wieder die Temperaturabhängigkeit der Brechungsindices, so beträgt der Temperaturkoeffizient des Meßsignals in diesem Fall
- 30

35

030018/0271

- 23 -

- 10 -

VPA **BP 7170 CRD**

$$\frac{1}{U'} \frac{dU'}{dT} = \frac{1}{r} \frac{dr}{dT} - \frac{1}{r'} \frac{dr'}{dT}.$$

- 5 Wenn das Meßsignal wesentlich kleiner als die zu messende Spannung sein soll, eignen sich für diese Ausführungsform Materialien mit sehr unterschiedlichen Werten von $n^3 r$ aber nahezu gleichem Temperaturkoeffizienten des elektrooptischen Effektes.

10

Außerdem ist zur Kompensation der Temperaturabhängigkeit auch eine Ausführungsform mit zwei verschiedenen Kristallfasern (n, r bzw. n', r') und einem Kompensator (n'', r'') entsprechend Figur 1 möglich. In diesem Fall beträgt das

15 Meßsignal

$$U' = U \frac{n^3 r + n'^3 r'}{n''^3 r''}$$

20 und sein Temperaturkoeffizient

$$\frac{1}{U'} \frac{dU'}{dT} = \frac{n^3 dr/dT + n'^3 dr'/dT}{n^3 r + n'^3 r'} - \frac{1}{r''} \frac{dr''}{dT},$$

- 25 wobei die beiden Vorzeichen für die beiden möglichen Kristallorientierungen der Kristallfasern zueinander an der Kopplungsstelle gelten. Diese Ausführungsform ist vorzugsweise geeignet für Materialkombinationen, bei denen der Temperaturkoeffizient besonders klein ist.

30

Neben der Ausführungsform nach Figur 6 mit doppelter Zu- und Rückleitung ergeben sich weitere Ausführungsformen dadurch, daß man den Lichtstrahl des Senders 2 auch mehr als zweimal zur Hochspannung am Kopfteil 20 und zurück zum

- 35 Fußteil 1 führen kann und auch mehr als zwei verschiedene Fasermaterialien miteinander kombinieren kann, wenn die für die Fasermaterialien geltenden Temperaturkoeffizienten sich auf diese Weise kompensieren.

030018/0271

Im Ausführungsbeispiel nach Figur 1 ist ein Umlenk-
körper 30 vorgesehen, durch dessen Gestaltungsform eine
zusätzliche Doppelbrechung durch die Krümmung der Kristall-
faser 14 verhindert wird. Man kann aber auch die Einfüh-
rung einer zusätzlichen Doppelbrechung in die Kristall-
faser 14 durch die Krümmung im Kopfteil 20 am Hochspan-
nungsleiter 16 zulassen und diese konstante Doppelbre-
chung dann im Empfänger 40 kompensieren.

13 Patentansprüche

7 Figuren

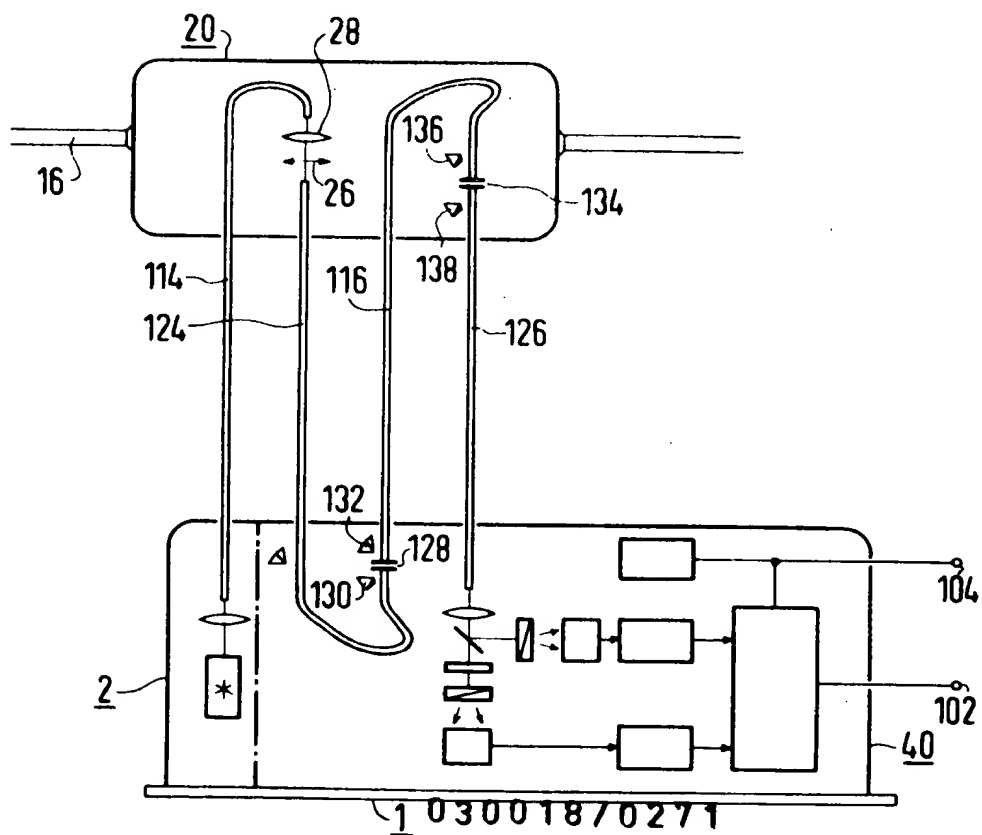
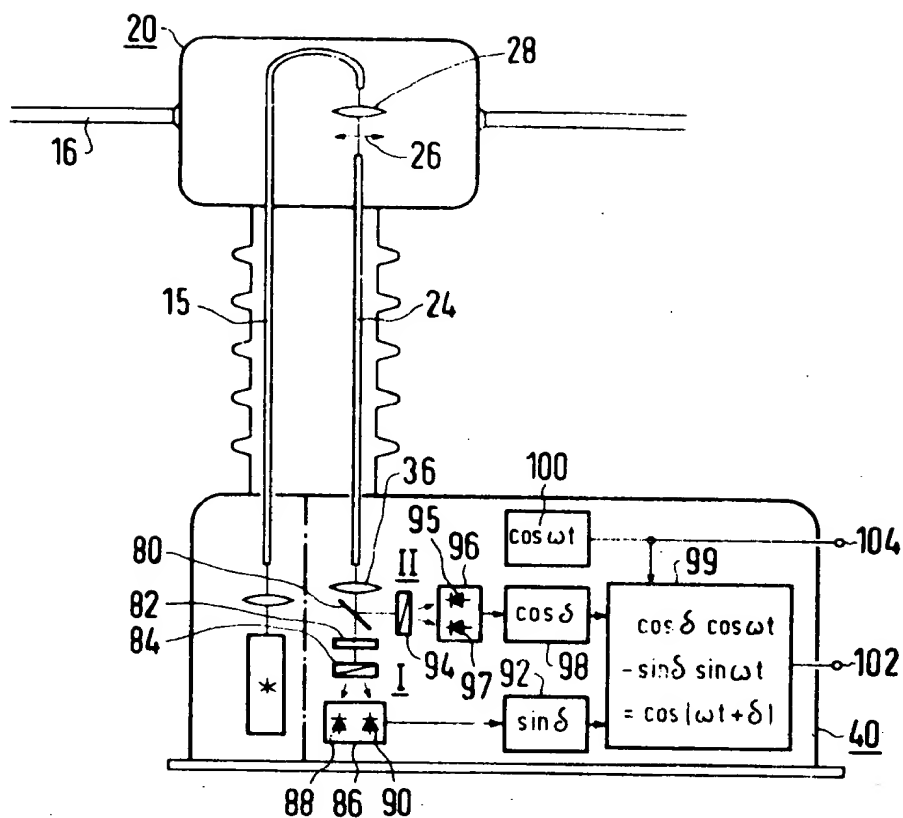
ZusammenfassungAnordnung zur elektrooptischen Spannungsmessung

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung zur elektrooptischen Spannungsmessung an einem Hochspannungsleiter, bei der die zu messende Spannung aus der Phasendifferenz der Komponenten der Lichtwelle abgeleitet ist. Erfindungsgemäß besteht wenigstens einer der Leiter (14,
- 10 24) für den polarisierten Lichtstrahl (4) aus einer Kristallfaser mit longitudinalem, linearem elektrooptischen Effekt aus piezoelektrischem Material. Am Hochspannungsleiter wird die Kristallfaser so geführt, daß die Formdoppelbrechung innerhalb der Kristallfaser aufgehoben wird. Die Meßanordnung hat den Vorteil, daß die
- 15 Spannung über eine große Strecke aufintegriert wird und das Meßergebnis unabhängig von der Feldverteilung längs dieses Weges ist (Figur 1).

030018/0271

030018/0271

-96-
Leerseite



1 030018/0271

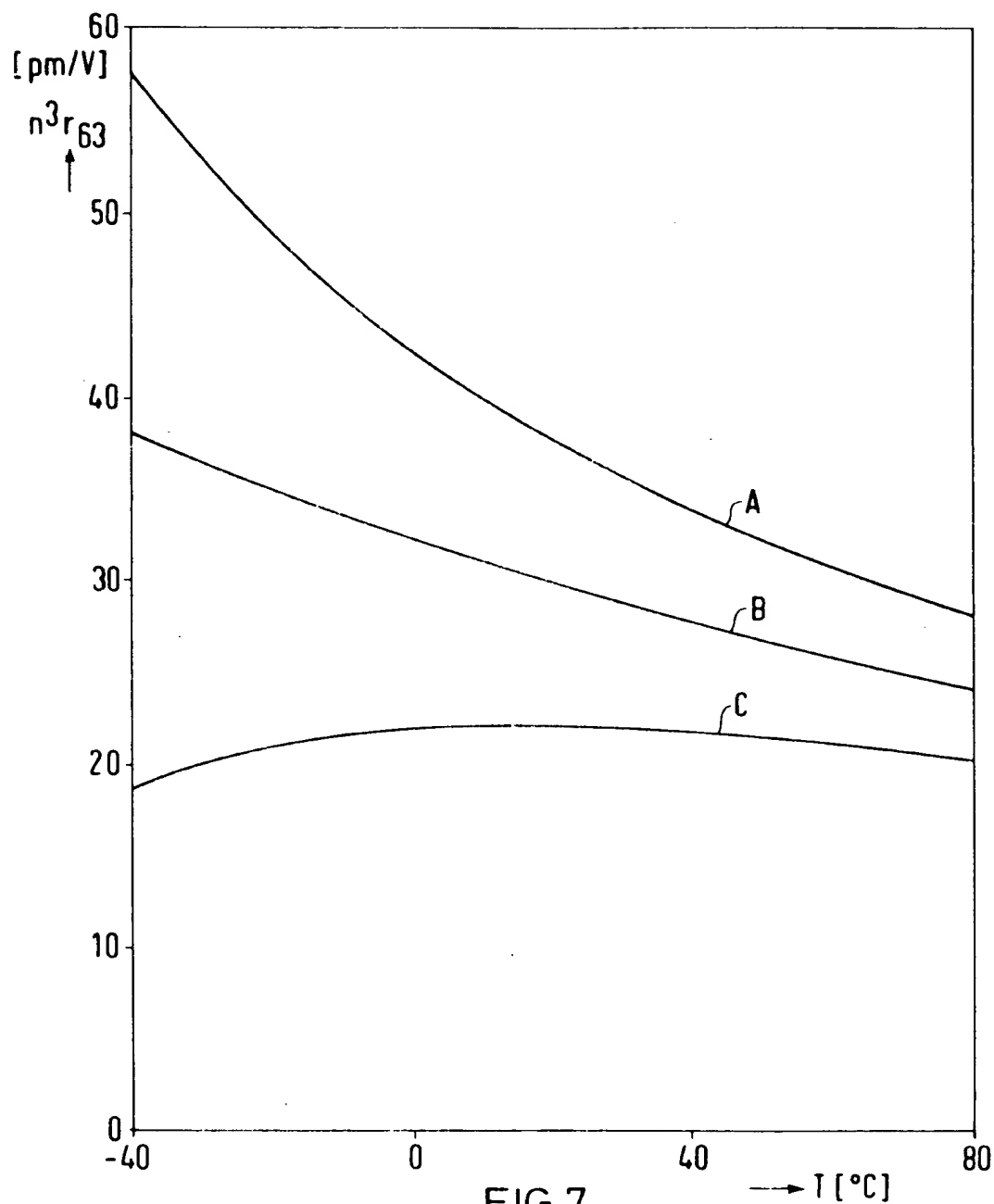


FIG 7

030018/0271

2845625

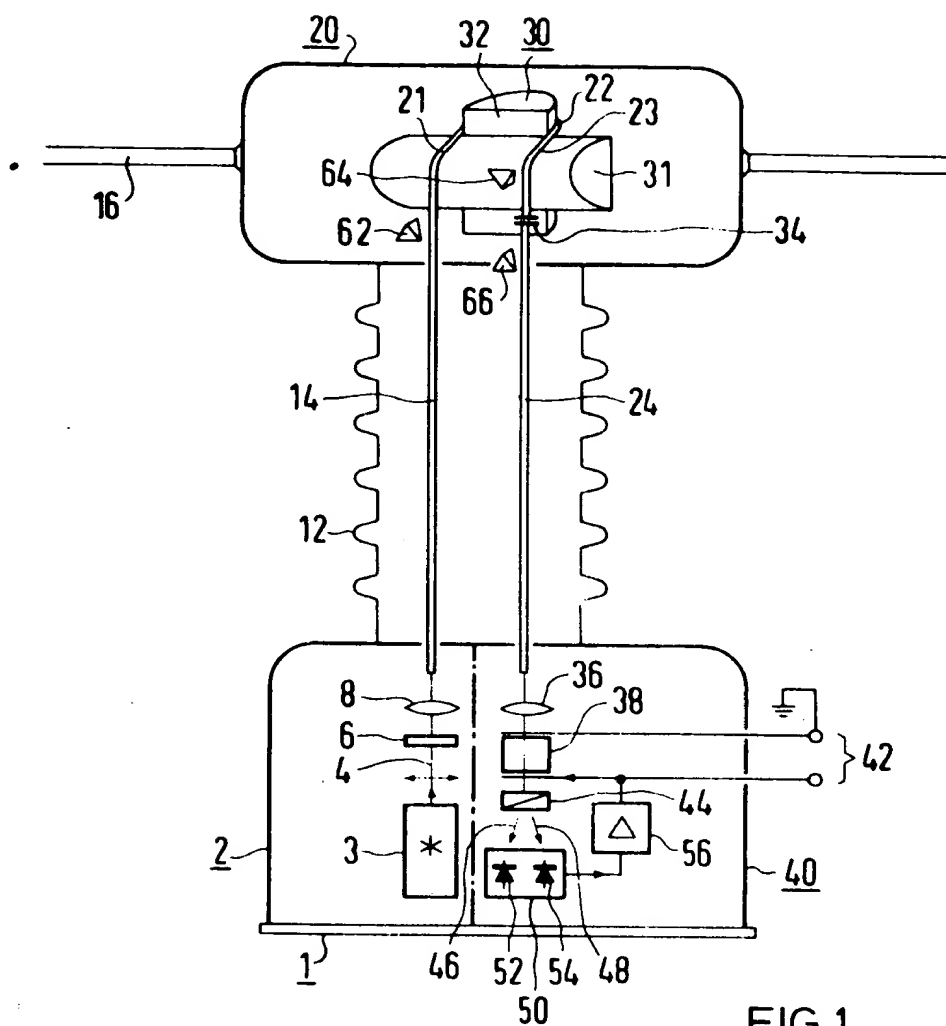


FIG 1

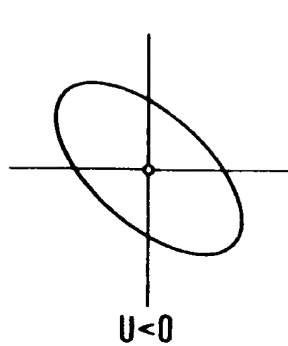


FIG 3

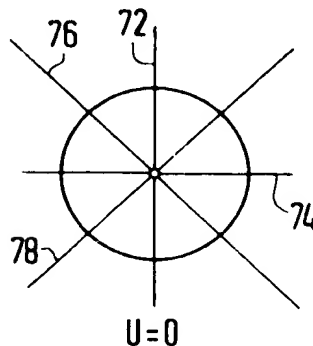


FIG 2

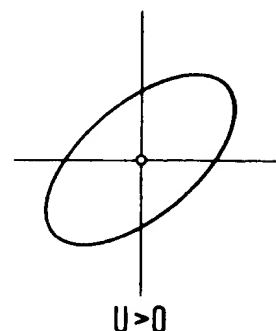


FIG 4

This Page Blank (uspto)